

## МОДЕЛЬ УНІВЕРСАЛЬНОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ МЕРЕЖ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Сабарно Л. Р., Кошман В. І., Севастюк І. М.

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України (м. Київ)*

*Наведено результати розробки моделі універсальної адаптивної системи релейного захисту для мереж, що містять джерела розподіленої генерації*

### Постановка

**проблеми.** Світові тенденції розвитку енергетики, що полягають у органічному поєднанні централізованої і розподіленої генерації (РГ), характерні й для України. Впровадження РГ в енергетику України, крім безсумнівних переваг, створює ряд проблем, у тому числі з належним функціонуванням релейного захисту (РЗ). За рахунок частоті зміни схеми живлення змінюються значення струмів КЗ, що призводить до хибних спрацьовувань і порушень узгодженості дії пристроїв РЗ. РГ може стати причиною збільшення або зменшення зон дії РЗ, порушення селективності та перерви в електропостачанні споживачів.

Такі особливості РГ потребують детального вивчення властивостей і характеристик установок, розробки їх математичних моделей при роботі в різних режимах. Виникає необхідність розробки нових методів аналізу режимів роботи систем електропостачання, що вміщують РГ.

**Мета статті** полягає у підвищенні надійності роботи мереж з РГ шляхом розробки моделі адаптивного релейного захисту.

**Основні матеріали дослідження.** Розглянемо РЗ у розподільчій мережі, на роботу якої впливає підключення РГ. Такі мережі напругою 6-10 кВ, як правило, мають радіальну структуру з одностороннім живленням чи працюють у розімкненому режимі і, в основному, працюють з ізольованою або компенсованою нейтраллю. Для захисту ліній електропередавання (ЛЕП) напругою 6-10 кВ згідно з ПУЕ повинні бути передбачені захисти від міжфазних КЗ (струмова відсічка, максимальний струмовий захист, струмова відсічка з витримкою часу); - від однофазних замикань на землю (ОЗЗ); - від дугових замикань.

Захист у розподільчих мереж з РГ не може бути досягнутий за допомогою концепції, яка застосовується для захисту традиційних розподільчих мереж. Системи захисту повинні враховувати напрямок струму мережі, оскільки джерела РГ можуть віддавати надлишки енергії назад у мережу, а також зміну топології мережі. Така ситуація потребує застосування направлених захистів на кожній ділянці для забезпечення правильної локалізації пошкодження.

Струм КЗ у точці замикання складається зі струму від основного джерела, а також від джерел РГ. У випадку зміни потужності, що віддається від одного з джерел РГ, або його відключення від мережі, змінюються значення максимального і мінімального струмів КЗ мережі. В таких умовах налаштування пристроїв РЗ мережі мають бути змінені у відповідності до конфігурації мережі.

Оскільки у діючих мережах з РГ не здійснюється адаптація налаштувань РЗ, при виникненні пошкоджень відключаються всі джерела РГ. Такий підхід допомагає відновити структуру радіальної розподільчої мережі і узгоджену дію пристроїв РЗА, однак при цьому порушується живлення споживачів, що живляться від джерел РГ.

Найбільш відповідним рішенням цієї проблеми є застосування методів адаптивного захисту [1]. У зарубіжних джерелах часто зустрічається принцип роботи адаптивного захисту на основі використання локальної інформації про топологію мережі і стан її комутаційного обладнання [2]. Ця інформація передається між пристроями РЗ за допомогою системних інтерфейсів. Уставки спрацьовування захистів підлаштовуються у відповідності з діючою топологією мережі. Для вирішення цієї проблеми нами запропоновано систему адаптації уставок струмових захистів.

Для розробки системи в середовищі SIMULINK була побудована модель мережі 6 кВ з ізольованою нейтраллю, яка дозволяє моделювати робочі і аварійні режими, контролювати параметри, що впливають на спрацьовування пристроїв РЗ [3].

Для аналізу дії реле в робочих і аварійних режимах, а також для проведення своєчасних змін налаштувань і характеристик реле прийнято узагальнену імітаційну модель пристроїв струмових захистів. Аналіз принципів дії і структур сучасних цифрових пристроїв струмових захистів, розроблених провідними зарубіжними фірмами Siemens, Merlin Gerin (Schneider Electric), Areva тощо типу максимальна струмова відсічка (МСВ), максимальний струмовий захист (МСЗ) і захист від ОЗЗ, показав, що їх можна представити у вигляді узагальненої функціональної схеми, наведеної на рис. 1. Спираючись на узагальнену функціональну схему пристроїв струмових захистів, було розроблено відповідну модель. Імітаційна модель пристрою струмових захистів, розроблена за допомогою графічного середовища імітаційного моделювання SIMULINK і його бібліотеки SimPowerSystems, представлена на рис. 2.

Алгоритм роботи представленої імітаційної моделі пояснює блок-схема на рис. 3.

Модель роботи пристроїв струмових захистів призначена для роботи разом з моделлю мережі, на її вхід надходять значення струмів фаз мережі з раніше розробленої моделі мережі. Модель дозволяє задавати уставки спрацьовування, уставки повернення пристрою захистів; також можлива установка часу спрацьовування для кожного з захистів окремо.

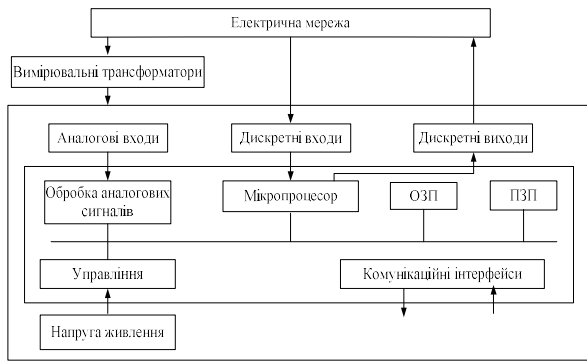


Рисунок 1 – Узагальнена функціональна схема пристрою струмових захистів

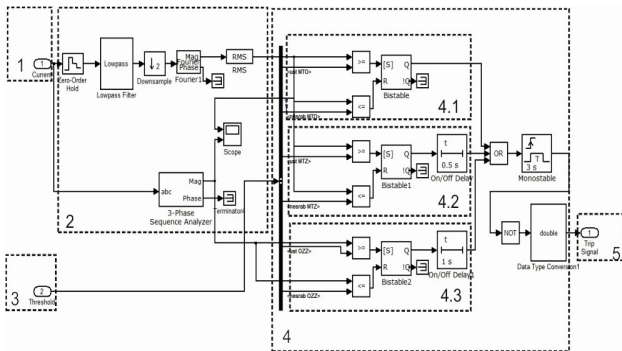


Рисунок 2 – Імітаційна модель пристрою струмових захистів: 1 - аналогові входи 3-фазного змінного струму; 2 - перетворювальна частина; 3 - уставки спрацьовування; 4 - логічна частина: 4.1 - МСВ, 4.2 - МСЗ, 4.3 - ОЗЗ; 5 - сигнал на спрацьовування комутаційного пристрою

Результати моделювання різних аварійних режимів (трифазне і двофазне КЗ, ОЗЗ) при постійній напрузі мережі, показали, що модель працює коректно, режими і часові характеристики відповідають реальним режимам роботи пристроїв струмового захисту.

Проведені дослідження свідчать про необхідність розробки пристроїв захисту, адаптивних до режимів роботи і експлуатаційних параметрів мережі, що змінюються. Уставки спрацьовування більшості пристроїв захистів енергосистеми повинні бути адаптивними до змін наступних параметрів:

- напруга енергосистеми;
- номінальний струм навантаження;
- довжина контрольованої ділянки;
- питомий опір провідників ЛЕП;
- тип навантаження (індуктивний чи ємнісний).

Для контролю перерахованих вище параметрів доцільно використовувати інформацію, що отримується з вимірвальних трансформаторів струму, трансформаторів напруги та трансформаторів нульової послідовності. В якості вхідних сигналів для системи адаптації можуть застосовуватись значення, що надходять в вимірвальну частину пристрою РЗ з первинних перетворювачів параметрів мережі. Вихідний сигнал системи адаптації може передаватися до пристроїв захисту через системні інтерфейси, які широко використовуються в сучасних мікропроцесорних при-

строях захисту. На рис. 4 представлено схему, яка пояснює принцип роботи системи адаптації.

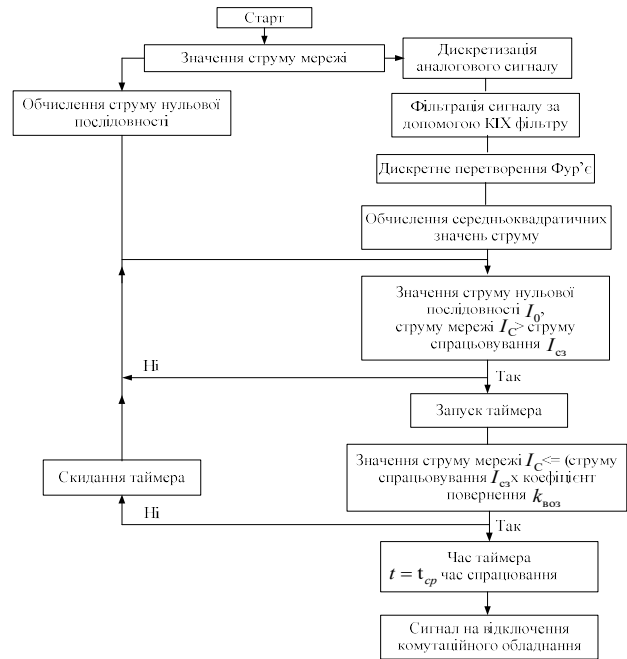


Рисунок 3 – Алгоритм роботи імітаційної моделі

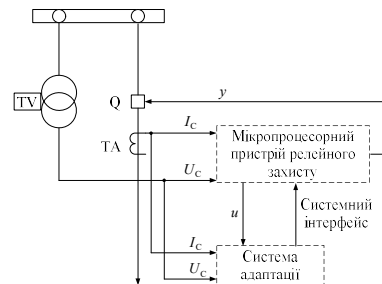


Рисунок 4 – Структурна схема системи адаптації

Запропонована система адаптації уставок спрацьовування призначена для наступних видів струмових захистів: максимальна струмова відсічка, максимальний струмовий захист і захист від ОЗЗ. Контрольованим параметром для адаптації уставок і характеристик захистів вибрано змінну напругу мережі.

Оскільки залежність уставок спрацьовування має пропорційний характер, то для адаптації захистів уставки, визначені для номінальних параметрів мережі, повинні множитись на пропорційний коефіцієнт, що характеризує ступінь зміни напруги. При цьому повинні виключатись можливі короточасні і незначні зміни напруги, які не впливають на селективність роботи пристроїв захистів. Тобто має бути визначений діапазон нечутливості системи адаптації, який залежить від конкретних умов конфігурації і структури мережі. Час дії системи адаптації має бути досить швидким, достатнім для своєчасного реагування на зміни напруги мережі. Алгоритм роботи системи адаптації наведено на рис. 5.

Модель системи адаптації уставок спрацьовування струмових захистів, розроблену в середовищі імітаційного моделювання SIMULINK / MATLAB, наве-

дено на рис. 6. Вона використовується разом з розробленою раніше імітаційною моделлю пристроїв струмових захистів.



Рисунок 5 – Алгоритм роботи системи адаптації уставок спрацьовування струмових захистів

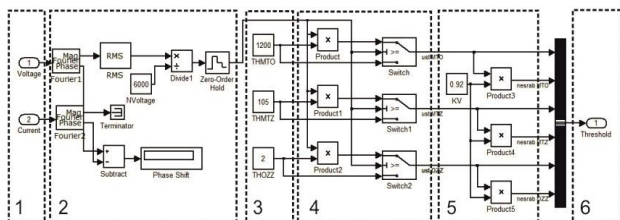


Рисунок 6 – Модель системи адаптації уставок спрацьовування струмових захистів: 1 - введення аналогових значень струму і напруги контролюваного об'єкта; 2 - блок обчислення пропорційного коефіцієнту; 3 - блок задання номінальних уставок спрацьовування; 4 - блок перемикання номінальних уставок спрацьовувань на адаптивні; 5 - блок задання коефіцієнту повернення і формування значень уставок сталого неспрацьовування пристроїв захисту; 6 - блок передачі уставок спрацьовування пристроям захисту

Модель формує набір адаптивних уставок спрацьовування залежно від зміни напруги мережі. У моделі задаються наступні параметри:

- номінальна напруга мережі;
- розрахована для номінальних значень уставок спрацьовування МСВ;
- розрахована для номінальних значень уставок спрацьовування МСЗ;

- розрахована для номінальних значень уставок спрацьовування захисту від ОЗЗ;
- коефіцієнт повернення;
- діапазон нечутливості.

Згідно наведеної вище структурної схеми системи адаптації, дані про параметри мережі з вимірювальних трансформаторів струму і напруги потрапляють в мікропроцесорні пристрої струмових захистів, потім разом з розрахованими для номінальних параметрів мережі значеннями уставок спрацьовування, засобами системних інтерфейсів передаються в систему адаптації, де відбувається розрахунок коефіцієнта пропорційності і подальше обчислення адаптивних уставок спрацьовувань.

**Висновки.** Розроблена система адаптації уставок струмових захистів здатна істотно підвищити надійність спрацьовування пристроїв РЗА. Розроблена система може бути інтегрована з сучасними мікропроцесорними пристроями РЗА.

### Список використаних джерел

1. A Simple Adaptive Overcurrent Protection of Distribution Systems With Distributed Generation / Mahat, Zhe Chen, Bak-Jensen B., Bak C. L.. IEEE Transactions on Smart Grid, Sept, 2011. vol. 2, no. 3. P. 428-437.
2. Jafari R., Naderi M. S., Gharehpetain G. B. An Adaptive Protection Scheme based on Fault Location for Smart Micro-Grids. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14) Cordoba (Spain), 2014. - ISSN 2172-038 X. No.12.
3. Розробка імітаційної моделі пристроїв релейного захисту для мереж з розподіленою генерацією / Кузнецов В., Сабарно Л., Кошман В., Севастюк І. Зб. матер. International Ukraine-Poland Seminar "Power quality in distribution networks with distributed generation". Kyiv, 2019. P. 73-80.

### Анотація

#### МОДЕЛЬ УНИВЕРСАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СЕТЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Сабарно Л. Р., Кошман В. И., Севастюк И. М.

Приведены результаты разработки модели универсальной адаптивной системы релейной защиты для сетей, содержащих источники распределенной генерации.

### Abstract

#### MODEL OF THE UNIVERSAL ADAPTIVE RELAY PROTECTION SYSTEM FOR DISTRIBUTED GENERATION NETWORKS

L. Sabarno, V. Koshman, I. Sevastjuk

The results of developing a model of universal adaptive relay protection system for networks containing distributed generation sources are presented.